

# Strategisches Planen

## Planen als Modellprüfung

Robert Mattmüller

Institut für Informatik  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

14. Februar 2007

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattmüller

Strategisches  
Planen

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

- Vorlesung: nur **ein Agent**  
(Gegenspieler modelliert durch Nichtdeterminismus)
- Hier: **mehrere Agenten**
- Damit möglich: Gegenspieler, Koalitionen
- Anwendungen:
  - **Planung für Multiagentensysteme**
  - **Modellprüfung** (Agenten = Hardwarekomponenten)

Strategisches  
Planen

Robert  
Matzmüller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

- Vorlesung: nur **ein Agent**  
(Gegenspieler modelliert durch Nichtdeterminismus)
- Hier: **mehrere Agenten**
- Damit möglich: Gegenspieler, Koalitionen
- Anwendungen:
  - **Planung für Multiagentensysteme**
  - **Modellprüfung** (Agenten = Hardwarekomponenten)

Strategisches  
Planen

Robert  
Matzmüller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

- Vorlesung: nur **ein Agent**  
(Gegenspieler modelliert durch Nichtdeterminismus)
- Hier: **mehrere Agenten**
- Damit möglich: Gegenspieler, Koalitionen
- Anwendungen:
  - **Planung für Multiagentensysteme**
  - **Modellprüfung** (Agenten = Hardwarekomponenten)

Strategisches  
Planen

Robert  
Matthüller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

- Vorlesung: nur **ein Agent**  
(Gegenspieler modelliert durch Nichtdeterminismus)
- Hier: **mehrere Agenten**
- Damit möglich: Gegenspieler, Koalitionen
- Anwendungen:
  - **Planung für Multiagentensysteme**
  - **Modellprüfung** (Agenten = Hardwarekomponenten)

Strategisches  
Planen

Robert  
Matthüller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

Strategisches Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische Suche

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

	<b>Klassisches Planen</b>	<b>Strategisches Planen</b>
<b>Modell</b>	Zustände Anfangszustand Aktionen	Zustände Anfangszustand Aktionsprofile
<b>Spezifikation</b>	Zielformel	Strategische Fähigkeiten
<b>Gesucht</b>	Plan	(Gewinn-)Strategie(profil)

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

Strategisches Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische Suche

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

	<b>Klassisches Planen</b>	<b>Strategisches Planen</b>
<b>Modell</b>	Zustände Anfangszustand <b>Aktionen</b>	Zustände Anfangszustand <b>Aktionsprofile</b>
<b>Spezifikation</b>	Zielformel	Strategische Fähigkeiten
<b>Gesucht</b>	Plan	(Gewinn-)Strategie(profil)

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

Strategisches Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische Suche

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

	<b>Klassisches Planen</b>	<b>Strategisches Planen</b>
<b>Modell</b>	Zustände Anfangszustand <b>Aktionen</b>	Zustände Anfangszustand <b>Aktionsprofile</b>
<b>Spezifikation</b>	<b>Zielformel</b>	<b>Strategische Fähigkeiten</b>
<b>Gesucht</b>	Plan	(Gewinn-)Strategie(profil)

# Strategisches Planen in Multiagentensystemen

Strategisches Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische Suche

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

	<b>Klassisches Planen</b>	<b>Strategisches Planen</b>
<b>Modell</b>	Zustände Anfangszustand <b>Aktionen</b>	Zustände Anfangszustand <b>Aktionsprofile</b>
<b>Spezifikation</b>	<b>Zielformel</b>	<b>Strategische Fähigkeiten</b>
<b>Gesucht</b>	<b>Plan</b>	<b>(Gewinn-)Strategie(profil)</b>

# Alternating-time Temporal Logic

- Temporallogik:  
Pfadformeln  $F\varphi$ ,  $G\varphi$ ,  $X\varphi$ ,  $\varphi U\psi$ ,  $\varphi W\psi$ .
- Beschreibung strategischer Fähigkeiten:  
Pfadquantoren  $\langle\langle\mathcal{A}\rangle\rangle\Phi$ ,  $[[\mathcal{A}]]\Phi$ .

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattmüller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Alternating-time Temporal Logic

- Temporallogik:  
Pfadformeln  $F\varphi$ ,  $G\varphi$ ,  $X\varphi$ ,  $\varphi U\psi$ ,  $\varphi W\psi$ .
- Beschreibung strategischer Fähigkeiten:  
Pfadquantoren  $\langle\langle\mathcal{A}\rangle\rangle\Phi$ ,  $[[\mathcal{A}]]\Phi$ .

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattmüller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

## Beispiel

$$\langle\langle \text{SPIELER}_2, \text{SPIELER}_3 \rangle\rangle F ( \\ \text{zielSpieler}_2 \wedge \text{zielSpieler}_3 \wedge \\ \llbracket \text{SPIELER}_5 \rrbracket G \neg \text{zielSpieler}_5 \\ )$$

„Spieler 2 und 3 haben zusammen eine Strategie, dass irgendwann beide ihre Ziele erreicht haben und zu diesem Zeitpunkt Spieler 5 allein nicht verhindern kann, dass er sein Ziel nie mehr erreicht.“

Strategisches  
Planen

Robert  
Matth Müller

Strategisches  
Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische  
Suche

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

- Problem:
  - Gegeben: Transitionssystem  $M$ , ATL-Formel  $\varphi$ .
  - Gefragt: Gilt  $\varphi$  in  $M$ ? Gewinnstrategie?
- Algorithmus:
  - Explizite Zustandsrepräsentation.
  - Heuristische Vorwärtssuche in zyklischem UND/ODER-Graphen + Rückwärtssuche.

Strategisches Planen

Robert  
Mattmüller

Strategisches Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische Suche

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

- Problem:
  - Gegeben: Transitionssystem  $M$ , ATL-Formel  $\varphi$ .
  - Gefragt: Gilt  $\varphi$  in  $M$ ? Gewinnstrategie?
- Algorithmus:
  - Explizite Zustandsrepräsentation.
  - Heuristische Vorwärtssuche in zyklischem UND/ODER-Graphen + Rückwärtssuche.

Strategisches Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches Planen

Motivation

Formalismus: ATL

Methode: Heuristische Suche

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

# Planen mit temporal erweiterten Zielen

- Anwendungen:

- Handlungsplanung:

- Spezifikation von Eigenschaften des Ausführungspfads.
    - *Maintenance*-Ziele.
    - Mehrere aufeinanderfolgende Teilziele.
    - Sicherheitsziele, Vermeidung gefährlicher Aktionen.

- Modellprüfung:

- Finden von Fehlerpfaden.

- Formalismus: Linearzeit-Temporallogik (LTL),  
Pfadformeln  $F\varphi$ ,  $G\varphi$ ,  $X\varphi$ ,  $\varphi U\psi$ ,  $\varphi W\psi$ .

- Algorithmus:

- SAT-Planen (wie für klassische Probleme).
  - Zusätzlich Übersetzung der LTL-Formel in Aussagenlogik.

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches  
Planen

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Planen mit temporal erweiterten Zielen

- Anwendungen:

- Handlungsplanung:

- Spezifikation von Eigenschaften des Ausführungspfads.
    - *Maintenance*-Ziele.
    - Mehrere aufeinanderfolgende Teilziele.
    - Sicherheitsziele, Vermeidung gefährlicher Aktionen.

- Modellprüfung:

- Finden von Fehlerpfaden.

- Formalismus: Linearzeit-Temporallogik (LTL),  
Pfadformeln  $F\varphi$ ,  $G\varphi$ ,  $X\varphi$ ,  $\varphi U \psi$ ,  $\varphi W \psi$ .

- Algorithmus:

- SAT-Planen (wie für klassische Probleme).
  - Zusätzlich Übersetzung der LTL-Formel in Aussagenlogik.

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches  
Planen

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Planen mit temporal erweiterten Zielen

- Anwendungen:
  - Handlungsplanung:
    - Spezifikation von Eigenschaften des Ausführungspfads.
    - *Maintenance*-Ziele.
    - Mehrere aufeinanderfolgende Teilziele.
    - Sicherheitsziele, Vermeidung gefährlicher Aktionen.
  - Modellprüfung:
    - Finden von Fehlerpfaden.
- Formalismus: Linearzeit-Temporallogik (LTL),  
Pfadformeln  $F\varphi$ ,  $G\varphi$ ,  $X\varphi$ ,  $\varphi U \psi$ ,  $\varphi W \psi$ .
- Algorithmus:
  - SAT-Planen (wie für klassische Probleme).
  - Zusätzlich Übersetzung der LTL-Formel in Aussagenlogik.

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches  
Planen

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

# Vorverarbeitungs-Techniken beim ATL-Planen

(Studien- oder Bachelorarbeit)

- Reduktion/**Vereinfachung** des Problems **ohne Suche**.
- Vereinfachungen:
  - Elimination von unnötigen Variablen und Transitionen
  - Zusammenfassen von Variablen
  - Operationen auf monotonen Variablen
- Implementierungssprache: frei wählbar.

Strategisches Planen

Robert  
Mattmüller

Strategisches Planen

Temporal erweiterte Ziele

Themen für Abschlussarbeiten

ATL: Vorverarbeitung

ATL:  
Endspieldatenbanken

LTL: Implementierung  
in NuSMV

# Endspieldatenbanken beim ATL-Planen

(Studien-, Bachelor-, Diplom- oder Masterarbeit)

- **ATL-Modellprüfung = Lösen eines Spiels.**
- Nützlich beim Lösen von Spielen: **Endspieldatenbanken** (vgl. Schach-Computer).
- Übertragung der Idee auf ATL-Modellprüfung.
- **Automatische Erzeugung** einer Endspieldatenbank.
- **Inkrementelle Modifikation** der Endspieldatenbank (?)
- Implementierungssprache: Java oder C/C++.

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattmüller

Strategisches  
Planen

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

ATL: Vorverarbeitung

ATL:  
Endspieldatenbanken

LTL: Implementierung  
in NuSMV

# SAT-Plänen für LTL-Ziele in NuSMV

(Studien- oder Bachelorarbeit)

- NuSMV:
  - **Symbolischer Modellprüfer** für CTL und LTL.
  - **BDD-** und **SAT-**Algorithmen.
- LTL-Modellprüfung in NuSMV:
  - **SAT-basiert viel ineffizienter als BDD-basiert.**
  - Nur **sequentielle** SAT-Kodierung.
- **Frage:** Wieviel bringt **parallele** Kodierung?
- **Aufgabe:** **Implementierung** einer (gegebenen) parallelen Kodierung **in NuSMV.**
- **Implementierungssprache:** C.

Strategisches  
Planen

Robert  
Mattnüller

Strategisches  
Planen

Temporal  
erweiterte Ziele

Themen für Ab-  
schlussarbeiten

ATL: Vorverarbeitung

ATL:  
Endspieldatenbanken

LTL: Implementierung  
in NuSMV